



TITLE:

# 林内の照度 (II) : 全天空写真による 解析 (1)

AUTHOR(S):

玉井, 重信; 四手井, 綱英

---

CITATION:

玉井, 重信 ...[et al]. 林内の照度 (II) : 全天空写真による解析 (1). 京都大学  
農学部演習林報告 1972, 44: 100-109

ISSUE DATE:

1972-12-25

URL:

<http://hdl.handle.net/2433/191535>

RIGHT:

# 林内の照度(Ⅱ)

## 全天空写真による解析(1)

玉井 重信・四手井 綱英

## Light Intensity in the Forest (II)

### The Hemispherical Photographic Computation of Light Intensity (1)

Shigenobu TAMAI and Tsunahide SHIDEI

### 目次

要 旨 .....	100	2. 結果と考察 .....	102
はじめに .....	100	引用文献 .....	106
1. 方 法 .....	101	Résumé.....	106

### 要 旨

林内の相対照度を、全天空写真を利用して求めてみた。全天空写真を利用して測定する場合、誤差を少なくするため、次のことを考慮する必要がある。

1. 写真撮影するとき適正露出で撮影すること。露出が少なすぎると、過大値がでる。
2. 印画紙に焼きつけるとき、一定の調子でおこなう。

全天空写真を測定するとき、測定者の個人誤差と測定者間の誤差が生ずるので改良する必要がある。

全天空写真より求めた値 ( $R_p$ ) と直接測定により求めた値 ( $R_d$ ) の比 ( $R_p/R_d$ ) は、晴天の日は、曇天の日のものより小さくなる傾向があった。

樹種の異なった林分間では、異なった値を示すので、同一樹種、同一条件下での写真測定結果で比較すべきである。

林内照度の高度による累積照度分布は、ヒノキ林で水平面から 40~45 度までで、スギ林は 50~53 度で、9 月のミズナラ林で 45 度までで、全体の半分を占めている。

写真測定を利用することにより直接測定の季節変化の要因を分析することができる。

### は じ め に

林内の光環境は複雑で、種々の要因により変化する。大別して林外の状態変化と林内の状態変化により変わる。林外の状態変化は、太陽高度、照度の変化等であり、林内の状態変化は、林冠、主に葉量、葉の分布のしかたによるものである。すでに報告したように、林内の相対照度は、林外の照度の増減により変化する。そのため第 1 に、同一林分で、同一時期であっても、林内の相

対照度は、林外の照度により値が変わるため、異なった林分間や時期では比較ができない。第2に、林内の相対照度の季節変化を調べるとき、林内の相対照度の増減が、林外の要因によるものか、林内の要因、即ち葉量の季節変化によるものかわからない。

以上の2点の問題を解決するために、林冠の隙間の量から林内照度を求める方法を試みた。この方法は、全天空写真(Hemispherical photograph)を利用するもので、すでに、M.C. Anderson<sup>2)</sup>によっておこなわれている。Andersonは、主に全天空写真から測定した値と、直接に連続測定して求めた積算量<sup>3)</sup>を比較し、散光成分と直射成分を求めている。

また Evance<sup>4)</sup>らは、太陽軌道を求め、全天空写真から林内のある点における可照時間や陽斑点(sun fleck)の量を算出している。しかし著者は、直接的瞬間測定による値と、全天空写真で求めた値を比較検討し、先に述べた問題の解決方法としてもちい得るか否かを試みた。

なお実験に使用した主な林分の概要は次のとおりである。

日野(滋賀県蒲毛郡日野町綿向山綿向山森林生産組合所有林)のヒノキ林(*Chamaecyparis obtusa* stand): 林令33年, 立木密度3,500本/ha, 平均胸高直径12.8cm, 平均樹高10.4m

芦生(京都府北桑田郡美山町芦生京都大学演習林)のミズナラ林(*Quercus crispula* stand): 林令約60年, 立木密度1,900本/ha, 平均胸高直径14.4cm, 平均樹高19.5m

吉野(奈良県吉野郡東吉野村杉谷, 財団法人阪本奨学会所有林)のスギ林(*Cryptomeria japonica* stand): 林令15年, 立木密度900~3,280本/ha.

(注) 吉野のスギ林の詳細は京大演報38(1966), 39(1967), 40(1969), 42(1971)を参照されたい。

おわりに、調査にあたりヒノキ林を提供くださいました日野町綿向山森林組合の皆様、また調査に協力くださいました京都大学森林生態研究室の諸氏に感謝する。

## 1. 方 法

晴天時の林外の照度は、太陽高度、太陽の方位、緯度などのパラメーターがはいり、曇天時<sup>8)</sup>に比べ複雑であるので、今回は曇天時の天空からの光により計算する方法についてだけあつかう。

完全に曇った天空状態で、ある高度における明るさは、MoonとSpencer<sup>9)</sup>によって次のように提案された。

$$L_{\beta} = \frac{1}{3} L_z (1 + 2 \sin \beta) \dots\dots\dots (1)$$

$L_{\beta}$ ; 高度 $\beta$ における明るさ

$L_z$ ; 天頂における明るさ

ところで、(1)式は、標準的くもりの天空(Standard overcast sky)からのものであるが、一様なくもりの天空(Uniform overcast sky)における水平面での明るさは、

$$I_{\beta} = \sin 2\beta \dots\dots\dots (2)$$

$I_{\beta}$ ; 高度 $\beta$ の全明るさ

である。

そこで、高度 $\beta$ より下方からくる明るさは、(1), (2)式より求められる。即ち、

$$\begin{aligned} I &= \frac{2}{3} \int_0^{\beta} (\sin \beta + 2 \sin^2 \beta) \cos \beta d\beta \\ &= \frac{1}{3} \sin^2 \beta + \frac{4}{9} \sin^3 \beta \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

$I$ ; 高度  $\beta$  より下からの明るさ

という式が得られる。つまり水平面 ( $\beta=0^\circ$ ) から天頂 ( $\beta=90^\circ$ ) までの全明るさは、 $7/9$  となる。全天空写真は、角高度がそのまま距離として映っているので、全天空写真を (3) 式から同心円の 20 個の環状に分割できる。さらに環を放射状に 50 等分すると、各格子の中は、標準的くもりの天空からくる全明るさの、0.1% ずつがはいることになる。実際には、魚眼レンズで撮影したものを、印画紙の上に、上記した「くもの巣状」の格子 (直径 15 cm) をのせ焼きつける (Phot. 1~5)。

#### a) 林内での撮影

フィルムは、普通のモノクローム 35 mm を使用した。撮影方法は、カメラをしっかりした三脚に固定して天空に向け、カメラを水平にし、方向をきめる。シャッターは、撮影時撮影者が写真に映るのを防ぎ、カメラぶれしないようにするためセルフタイマー、またはレリーズを使用した。全天空写真は、原則として曇天時に撮影した。露出は、F. 11, 1/60 秒前後である。

#### b) 焼きつけ

フィルム現像は、一般の写真現像法と全く同じで一様な調子でおこなった。焼きつけ前に、先に述べた「くもの巣状」格子を描いた薄いポリエチレン製 (マイクロフィルム用のもので作成した) フィルムをつくっておく。印画紙は、四ツ切りでコントラストをよくするため硬調のものを使用した。印画紙に焼きつけるとき、印画紙の上に「くもの巣状」格子をのせ固定し、絞りと現像を一定の調子で行なった。

#### c) 写真からの照度測定

写真から曇天時の林内の相対照度を算出する。写真からの測定方法は、M.C. Anderson のおこなった方法と全く同じである。各々 0.1% の明るさをもった格子の中の隙間の面積を 5 階級にわけた。すなわち、0, 1~33, 33~66, 66~90, 90~100% の格子内の隙間の量を各 0, 25, 50, 75, 100% として計算する。各格子の隙間の量を、20 個に分かれた環毎の高度は、わかっているのので、高度に関して累積照度分布も求めることができる。

なお使用したレンズは、日本光学製フィッシュアイニッコール 7.5 mm, F. 5.6 (フィルター内蔵) を、また照度の直接測定は、東芝製 SPI-5 型を使用した。

## 2. 結果と考察

図-1は、林外の照度の差による全天空写真からの測定値の違いを示したものである。

実験に使用した林分は、吉野のスギ林である。図-1の上側の黒丸は、林外の照度が12000ルクスのとき、下側の白丸は、63000ルクスのとき撮影した結果より求めたものである。撮影時両者とも、フィルターを使用していない。葉の現存量が等しくともフィルターをせず、晴天下で測定した場合、曇天時の結果に比べ低い値を示している。これは、Phot. 1と2を比べるとわかるが、林外の照度が高いときに撮影すると、露出が過大になり、小さい隙間が消失したり、太陽がでているときはハレーションをおこす。その結果、晴天時に撮影した写真は、隙間が少なくなり、曇天時の結果に比べて低い値を示す。種々の林分で実験した結果、くもりの日中で、林外の照度が20000ルクス以下の状態で撮影することがのぞましいようである。曇天下で撮影すべきであるが、実際の調査の場合必ずしも20000ルクス以下の曇天にめぐまれるとは限らない。晴天時に撮影する場合は、青色フィルターを使用するとよいという。しかし一日に一回だけ撮影するのではなく、同一点で、異なった条件下で撮影し補正する方法がより確実であろう。

図-2は、全天空写真から求めた林内の相対照度 ( $R_p$ ) と照度計により直接測定し求めた林内の相

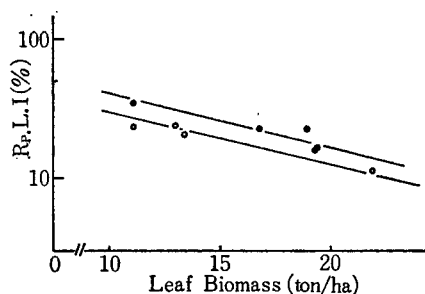


Fig. 1. Comparison of the relative light intensity, estimated from photograph ( $R_p$ ) under the overcast sky with the clear sky, on basis of leaf biomass (dry weight) in *Cryptomeria japonica* stand: Dec. 1971.

- : 12000 lux. in open.  
○: 63000 lux. in open.

対照度 ( $R_d$ ) の関係を示したものである。 $R_p \sim R$  関係は、各林分とも対数で直線関係をもっているようである。しかし同一林分であっても、林外の照度が高い晴天時に撮影した場合、 $R_p/R_d$  比は曇天時に比べ低い値を示している。先に述べたよ

うに、同一露出条件で写真撮影し、隙間の量から照度を求めると、晴天時はより低い結果を示すのであろう。直接測定により求めた林内の照度も林外の照度が高くなると減少するが、その減少率は、 $R_p$  の方が大きいので  $R_p/R_d$  比は小さくなるものと思われる。またスギ、ヒノキ林ともに、林外の照度が高くなると、 $R_p/R_d$  比は小さくなるが、樹種間では、同一の林外照度でも相違がみられる。つまり、晴天時撮影しても同一条件で、同一樹種であれば相対値として林内の光環境を比較することは可能である。しかし、撮影の時期、樹種の異なった林分間では、晴天下で撮影した結果から比べることは、のぞましくないと云える。

今まで述べてきた問題点は、撮影時の誤差についてであるが、全天空写真を利用して測定する場合、さらに次の二点について考慮する必要がある。その一つは、印画紙焼きつけ時に生ずる誤差である。印画紙への露光時間と絞りは一定にできる。しかし、印画紙現像は、注意して調子を一定にしないてはならない。

現象液の液温は、保温器を使用して一定にできるが、現象液の使用時間と印画紙を入れた回数により焼き込みの反応速度が違ってくる。同一焼きつけ時間で行なっていると、はじめは反応速度が速いため林冠の隙間は、少なくなり、おわりは逆に大きくなる。現象液の使用割合による誤差は、とくに現象液使用しはじめと、使用可能枚数限界付近で大きくなった。実験の結果、現象液は現像可能枚数の8割までにとどめておくこととよいことがわかった。他の問題の一つは、全天空写真からの明るさの測定は、先に述べた5段階に測定者の視覚により判断して分類するため、測定者の個人誤差と測定者間の誤差が生ずることである。今回の実験では、測定は著者が一人でおこなったので、測定者間の誤差は、含まれていない。Madgwick らによると、測定者間の誤差はかなり大きいという。個人誤差は、ヒノキ林のような小さい隙間の多い場合、大きくなる傾向があったが、平均して3~4%であった。直接測定の場合でも器械誤差だけでも、5%あるので

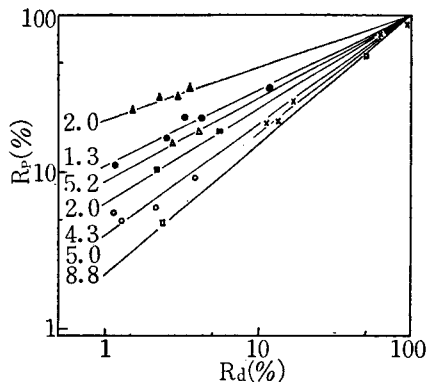


Fig. 2. Relation between the relative light intensity, estimated from photograph ( $R_p$ ) and direct measurement ( $R_d$ ).

- △, ▲: *Chamaecyparis obtusa*, Hino (1970).  
○, ●: *Cryptomeria japonica*, Yoshino (1971).  
□, ■: *Quercus crispula*, Ashu (1970).  
×: *Alnus hirsuta* var. *sibirica*, Kyoto (1971).

Number shows light intensity in open ( $\times 10^4$  lux.)

今回の実験では許容誤差内と見なしてよいであろう。しかし視覚による測定方法は、個人と個人間の誤差が含まれるので、改良すべきであろう。Madgwick<sup>11)</sup>らは、この点を改善して densitometer を利用して写真から反射率を求めコンピューターに連動しておこなっている。これは誤差を小さくするためのよい方法と思われるが、かなり高価につくらしい。

図-3, 4 は、全天空写真より求めたスギ、ヒノキ、ミズナラの3林分内の水平面から天頂までの累積照度分布を示したものである。

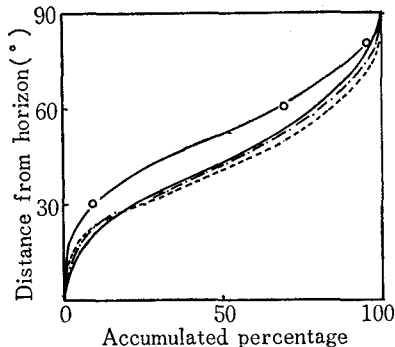


Fig. 3. The accumulated percentage light distribution from horizon to zenith in *Chamaecyparis obtusa* stand, Hino. — • —: estimated from photograph: 9 March 1971. - - - : the same: 20 August 1971. — : the same: 16 December 1971. ○—○: direct measurement: 17 September 1970.

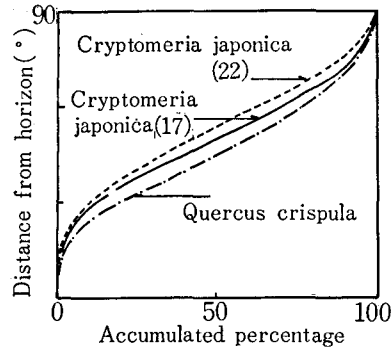


Fig. 4. The accumulated percentage light distribution from horizon to zenith, estimated from photograph in *Cryptomeria japonica* (2 Dec. 1971) and *Quercus crispula* (9 Sept. 1970) stand. ( ): leaf biomass (dry weight, ton/ha).

まずヒノキ林 (図-3) からみてみよう。8月20日の結果によると、全照度の50%は、高度40度までで占めており、3月9日は42度、12月16日は43度までで全体の半分を占めている。落葉期の12月や新葉がでる前の3月は、落葉量が少なく生長期の8月に比べて低い高度からくる光量が割合として多いようである。直接測定により求めた結果によると、高度53度で全体の半分を占めており、写真測定に比べて低い高度の占める割合は少ない。直接測定をおこなったのは、写真測定の前年であり、林外の照度は、30000ルクス前後のうすぐもりであるので厳密な意味での比較はできない。しかし林外の照度の写真測定時との差が10000ルクス程度であることを考慮すると写真測定は、直接測定に比べ低高度の明るさを過大にしている可能性があるため、今後さらに同一条件下でこの点をチェックする必要があるだろう。

図-4をヒノキ林の場合に比べるとスギの葉量17 ton/haの林分で高度50度まで全体の半分を占めており、低い高度で占める割合は少ない。同じスギ林でも葉量が22 ton/haの林分53.5度で全体の半分で、17 ton/haの林分に比べてさらに低い高度からの光量が少ない。いままで述べてきた全天空写真利用上の問題点を考慮して実際材分で直接測定の結果とともに検討してみよう。

図-5は、1971年日野のヒノキ林で実験した結果より、季節変化を調べたものである。林内の相対照度の季節変化を調べる場合、林内の相対照度は、林外の照度により変わるので変化がどの要因によっているかを直接測定だけで判定はできない。ところで写真測定の結果は、林冠の隙間

量から求めているので林冠の物質量が母数となつて生まれていると言える。そこで直接測定の結果の増減が、季節変化によるものであるかどうかを写真測定によりチェックが可能であろう。

図-5の直接測定の結果によると、相対照度は1月から4月までは、ほぼ4%前後で安定しており、5月より徐々に減少し10月まで減少しつづける。そして再び11月より増加しはじめ2.5%ぐらいで安定している。著者が実験している林分の近くで、齊藤がヒノキ林のリター量を調査しているが、それによると、落葉は主に11月から始まり3月までに落葉量の90%は落ちつくすと報告している。一方全天空写真により求めた結果をみると、3月から6月に向うにつれ、急激に減少し、6月から10月まで徐々に減少し12月に再び増加している。直接測定の結果と写真測定の結果は平行して増減していることより、ヒノキ林の林内の相対照度は、ほぼ図-5の形で季節変化すると言えよう。

次に葉量の季節変動が最も大きい落葉広葉樹の場合の一例をみてみよう。図-6は、1968年から1970年までの3カ年間芦生のミズナラ林で直接測定したものと、1970年に写真測定により求めたものの季節変化を調べたものである。直接測定の結果は、過去3カ年間ともほぼ同一の傾向を示している。5月の開葉期から急激に7月まで減少し、7月から9月下旬まで徐々に減少して、10月の落葉期に入り再び増加している。林内の相対照度の関係からみると7月より9月の林内の相対照度は葉量一定であれば高くなるはずである。もし9月の葉量は7月より少ないとすると、さらに高くなることになる。苗木による只木、菅らの葉量の季節変化によると、6月～8月に葉量のピークがあり以後徐々に減少すると報告している。では壮令林の場合でも同様であろうか。ここで写真測定による結果をみると、直接測定と同じ傾向を示している。つまり7月より9月の値はやや低い。写真測定は、林冠の隙間量により結果を求めていることより、葉量は7月より9月の方がやや多いが、またはほぼ同量であろうと推定される。すなわち7月より9月の林内の相対照度が低い値を示すのは、葉量の差と思われる。なお著者が3年生のヤマハンノキ (*Alnus hirsuta* var. *sibirica*) を用いて実験した結果、5月末から6月をはじめにかけて林内の相対照度は直接測定、写真測定ともに年間を通じて最も低い値を示した。このことより、苗木の場合は、6月から8月の間に葉量のピークが存在することはうなずける。

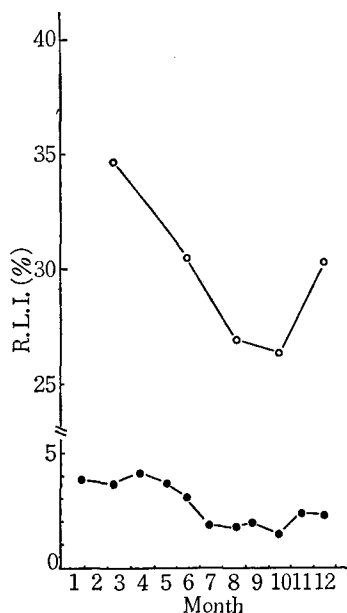


Fig. 5. Seasonal changes of the relative light intensities (R. L. I.) in *Chamaecyparis obtusa* stand (1971).

○: estimated from photographs.  
●: direct measurements.

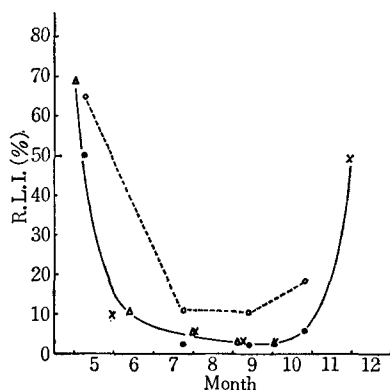


Fig. 6. Seasonal changes of the relative light intensities (R. L. I.) in *Quercus crispula* stand.

○: estimated from photographs, 1970.  
△: direct measurements, 1968.  
×: the same, 1968.  
●: the same, 1970.

## 引用文献

- 1) 川那辺三郎・玉井重信・四手井綱英：林内定点における相対照度の日変化，森林の一次生産測定法の研究中間報告（昭和42年度），48-52, (1968)
- 2) Anderson, M. C.: Studies of woodland light climate. 1. The photographic computation of light conditions. J. Ecology. **52**, 27-41, (1964. a)
- 3) Evance, G. C., D. C. Coombe: Hemispherical and woodland canopy photography and light climate. J. Ecology. **47**, 103-113, (1958)
- 4) 斉藤秀樹・菅 誠・四手井綱英：小径木間伐に関する研究 (I), 京大演報, **38**, 50-67, (1966)
- 5) 斉藤秀樹・山田 勇・四手井綱英：小径木間伐に関する研究 (II), 京大演報, **39**, 64-78, (1967)
- 6) 斉藤秀樹・玉井重信・荻野和彦・四手井綱英：小径木間伐に関する研究 (III), 京大演報, **40**, 81-92, (1968)
- 7) 玉井重信・四手井綱英・小径木間伐に関する研究 (IV), 京大演報, **42**, 163-173, (1971)
- 8) Walsh, J. W. T.: The science of daylight. London (1961)
- 9) Moon, P., D. E. Spencer: Illumination from a non-uniform sky. Trans. Illum. Engng. Soc., N. Y. **37**, 707, (1942)
- 10) Anderson, M. C.: Plant photosynthetic production. Manual of Methods. 12. Radiation and crop structure. 412-466, (1971)
- 11) Madgwick, H. A. I; Gary L. Brumfield: The use of hemispherical photographs to assess light climate in the forest. J. Ecology. **57**, 537-542, (1968)
- 12) 斉藤秀樹・四手井綱英：ヒノキ林の落葉枝量の空間分布，リタートラップの大きさとその必要数について，天然林の一次生産力の比較研究班中間報告（昭和44年度），23-34, (1970)
- 13) 只木良也・四手井綱英：森林の生産構造に関する研究 (I), アキニレ稚樹における葉量の時期的変化とその乾物生産，日林誌, **42**, 247-434, (1960)
- 14) 菅 誠・四手井綱英：施肥密度試験〔第1報〕，イイギリ苗を用いた模型林分における施肥効果，71回日林講，210-211, (1961)
- 15) 玉井重信：未発表

## Résumé

The purpose of this work is to find out the adequate methods and the source of error for using photographs to assess the relative light intensity in the forest.

The results obtained from the work are as follows;

1. Three sources of error can be isolated in the using of the photographs for assessing light intensities.

First, there is error due to photographic process and variations in exposure. Second error is due to variations in development and printing. Third, there is error due to inter-and intraobserver variation.

2. The ratio of the light intensity, estimated from the photographs to direct measurement is found to be lower in a clear sky than in a overcast sky. The light intensity, estimated from the photographs was incomparable among different species or under non-uniform conditions.

3. Half the light was estimated to come from an area of sky having latitude below  $40^\circ$  to  $45^\circ$ ,  $50^\circ$  to  $53^\circ$ ,  $45^\circ$ , in *Chamaecyparis obtusa*, *Cryptomeria japonica*, *Quercus crispula* (in September) stand, respectively.

4. Sesonal changes of the relative light intensity can be analyzed by using hemispherical photogrsphs.



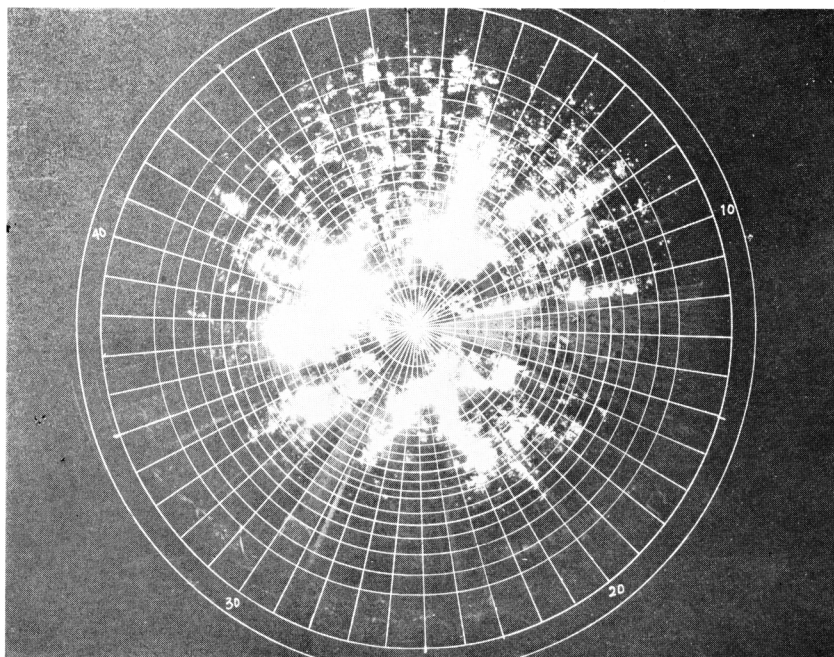


Photo. 1. Hemispherical photograph, in *Cryptomeria japonica* stand (Yoshino): 2 Dec. 1971, with the grid for estimating diffuse site factors superimposed. Overlaid with the spider's web grid, designed so that each segment contributes 0.1% of the total illuminance from a standard overcast sky.

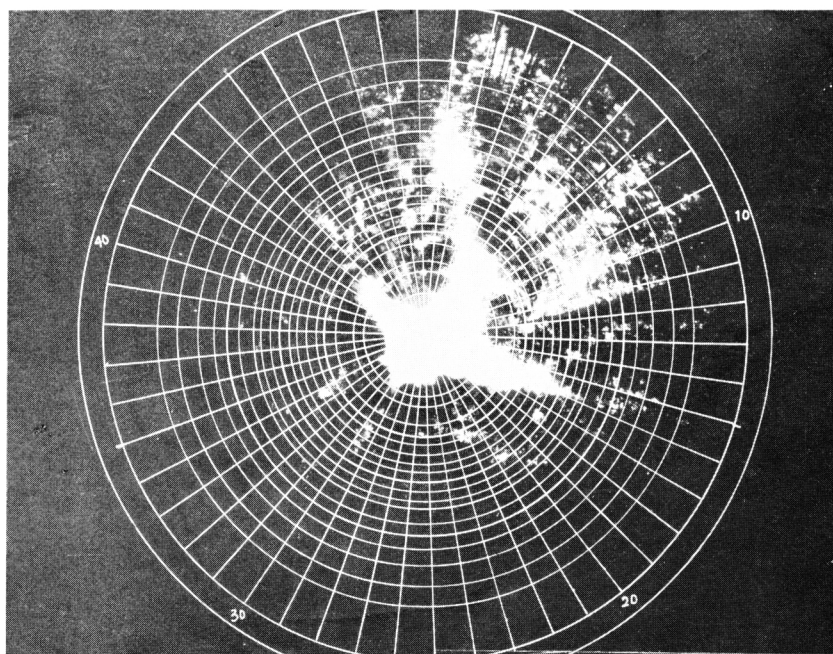


Photo. 2. The same under a clear sky: 3 Dec. 1971. Compare with photo. 1.

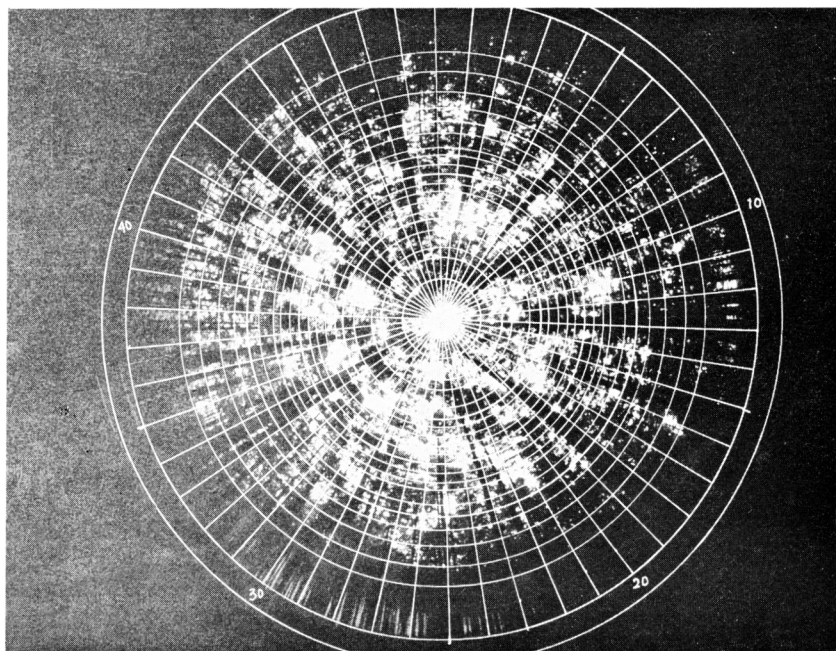


Photo. 3. A hemispherical photograph taken in *Chamaecyparis obtusa* stand (Hino): 15 Oct. 1971.

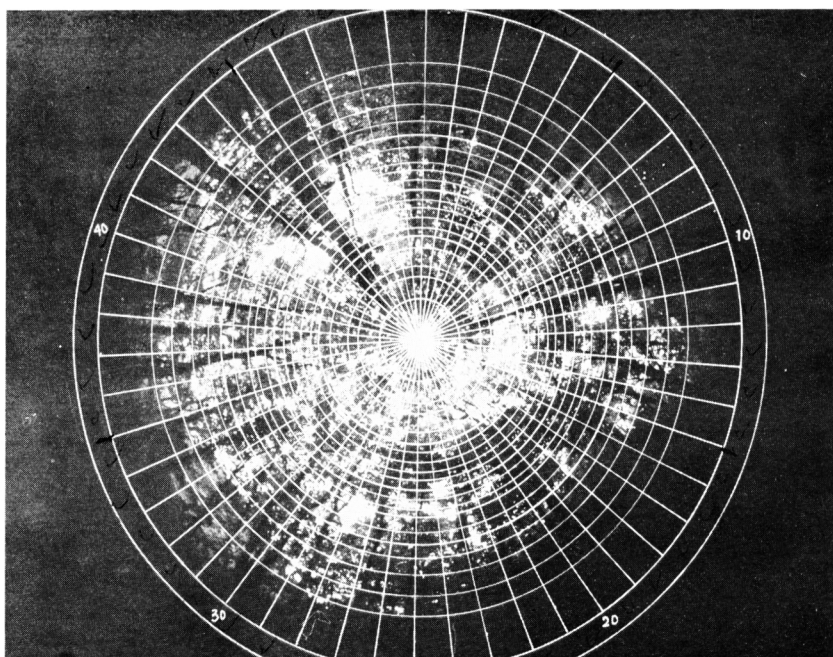


Photo. 4. *Quercus crispula* woodland (Ashu): 10 Oct. 1970.

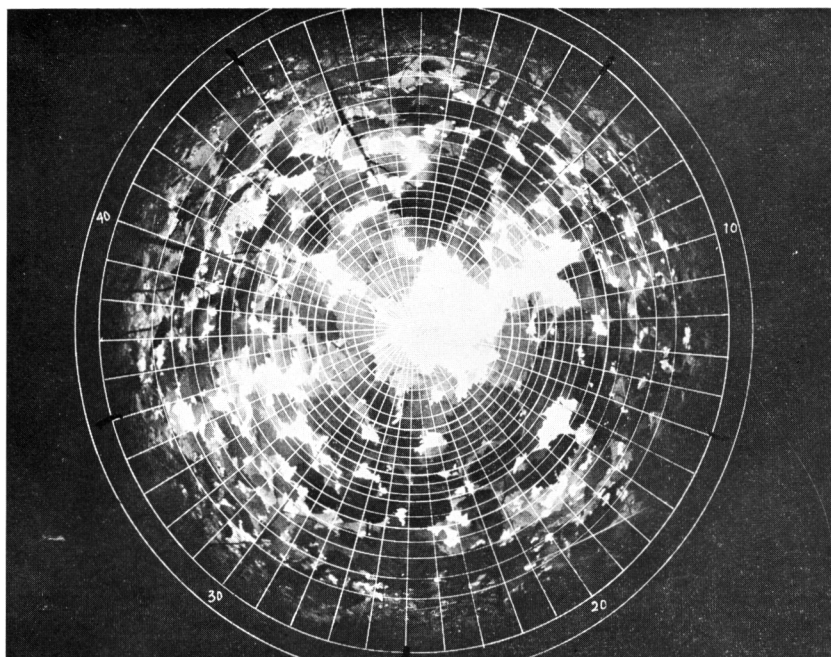


Photo. 5. A hemispherical photograph taken in model stand of *Alnus hirsuta* var. *sibirica* (Kyoto): 30 July 1971.